

26. 06. 2003



**10/511032**

REC'D 02 SEP 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 28 389.3

**Anmeldetag:** 25. Juni 2002

**Anmelder/Inhaber:** i-for-T GmbH,  
Rosenheim, Oberbay/DE

**Bezeichnung:** Schwingungssensor und Verfahren zur Zustands-  
überwachung von rotierenden Bauteilen und Lagern

**Priorität:** 13.04.2002 DE 102 16 575.0

**IPC:** G 01 M 13/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 22. Mai 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Best Available Copy**

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

02.0422.7.wo

Essen, den 25. Juni 2002

**P a t e n t a n m e l d u n g**

der Firma

i-for-T GmbH  
Westerndorferstr. 14

83024 Rosenheim

mit der Bezeichnung

**"Schwingungssensor und Verfahren zur Zustandsüberwachung  
von rotierenden Bauteilen und Lagern"**

## **Schwingungssensor und Verfahren zur Zustandsüberwachung von rotierenden Bauteilen und Lagern**

Die Erfindung betrifft einen Schwingungssensor zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern, mit einem Gehäuse, mit einem Sensorelement, mit einer Auswerteelektronik und mit mindestens einer Schnittstelle. Daneben betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern mit einem ein Sensorelement und eine Auswerteelektronik aufweisenden Schwingungssensor.

Im Maschinen- und Anlagenbau gibt es eine Vielzahl von Maschinen und Anlagen, die jeweils rotierende Bauteile, in der Regel eine Welle aufweisen. Die Welle ist dabei über ein Lager, insbesondere ein Wälzlager in dem stationären Gehäuse der Maschine oder Anlage gelagert, wobei je nach Ausführungsform der Innenring oder der Außenring des Lagers beweglich angeordnet ist, während dann entsprechend der Außenring bzw. der Innenring ortsfest gelagert ist. Als kraftübertragende und bewegte Komponente ist die einwandfreie Funktionsfähigkeit des Lagers entscheidend für die Funktionsfähigkeit der Maschine oder Anlage. Aufgrund hoher dynamischer und statischer Belastungen im Betrieb sowie aufgrund konstruktiver Einschränkungen stellt das Lager häufig die "Achillesferse" der Maschine oder Anlage dar. So sind Lagerdefekte die bei weitem häufigste Ausfallursache für elektrische Antriebe.

Aus diesem Grund gibt es eine Vielzahl verschiedener Sensoren und Methoden zur Zustandsüberwachung und Erkennung von Lagerschäden. Neben der Temperaturmessung des Lagers und der Analyse der Lagerschmierstoffe, insbesondere des Lageröls, werden hauptsächlich schwingungsdiagnostische Methoden zur Beurteilung des Lagerzustandes herangezogen. Mit Hilfe eines Beschleunigungssensors wird dabei das Körperschallsignal des zu überwachenden Lagers an der Maschinenoberfläche erfaßt und analysiert. Dabei lassen jedoch einfache Kennwerte des Schwingungssignals, wie Effektivwert, Spitzenwert oder Betragsmittelwert, keine zuverlässige Aussage über den Zustand des überwachten Lagers zu. Insbesondere für eine Schadensfrüherkennung sind derartige Kennwerte vollkommen ungeeignet. Dies liegt insbeson-

dere auch an den komplexen Betriebsbedingungen sowie an der Vielzahl der einsetzbaren und eingesetzten Lagern mit ihren unterschiedlichen Abmessungen und Kennwerten.

5 Eine zuverlässige Frühdiagnose von Lagerschäden oder Unwuchten der rotierenden Bauteile ist daher nur bei einer umfassenden Auswertung der von dem Schwingungssensor gelieferten hochfrequenten Signale im Bereich von bis zu einigen Kilohertz möglich. Die Auswertung dieser hochfrequenten Signale erfolgt dabei in der Regel mit Hilfe spektraler Signalanalyse. Dadurch ist es  
10 nicht nur möglich, eine Aussage darüber zu treffen, ob ein Lager intakt oder geschädigt ist, sondern es kann auch eine Aussage über die Art des Schadens getroffen werden. Ebenso kann eine Aussage über die noch zu erwartende Restlaufzeit des Lagers getroffen werden. Obwohl es somit meßtechnisch möglich ist, unterschiedliche Schäden frühzeitig zu erkennen, werden  
15 Schwingungssensoren zur Zustandsüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern in der Praxis nur selten eingesetzt.

Der Stand der Technik bei der industriellen Lagerüberwachung beschränkt sich dabei zum einen auf intermittierende Messungen mit Handmeßgeräten,  
20 zum anderen auf den Einsatz relativ teurer zentraler Meßsysteme, die sich aufgrund der hohen Anschaffungskosten lediglich für die Überwachung hochpreisiger Maschinen, wie beispielsweise Turbinen oder Großgetriebe, als sinnvoll erweisen. Die intermittierende Messung mit Handmeßgeräten hat den Nachteil, daß dabei keine kontinuierliche Überprüfung des Zustandes der  
25 Lager erfolgt, so daß auch keine zuverlässige Schadensfrühdiagnose möglich ist. Darüber hinaus ist es aufgrund der unterschiedlichen Betriebsbedingungen nur schwer möglich, aus den unterschiedlichen Meßwerten eine zuverlässige Aussage über den Zustand der Lager zu machen. Hierzu ist entsprechendes Experten Know-How erforderlich, was mit einem hohen personellen Aufwand  
30 und damit auch mit hohen Kosten verbunden ist.

Bei der Realisierung eines zentralen Meßsystems ergibt sich aufgrund der großen Anzahl der auszuwertenden Daten zum einen eine aufwendige Verkabelung der einzelnen Schwingungssensoren mit der zentralen Datenverarbeitungsanlage, zum anderen werden aufgrund der oftmals geforderten  
35 Echtzeit-Fähigkeit sehr hohe Anforderungen an die zentrale Datenverarbei-

tungsanlage gestellt, wobei die zentrale Datenverarbeitungsanlage aus Sicherheitsgründen zusätzlich noch redundant ausgeführt sein muß. Doch selbst bei der Verwendung einer entsprechend leistungsstarken und schnellen Datenverarbeitungsanlage ist aufgrund der großen auszuwertenden Datenmenge die Anzahl der an die Datenverarbeitungsanlage anschließbaren Sensoren stark beschränkt, wenn die einzelnen Sensoren in Echtzeit und nicht nur im Multiplexverfahren ausgewertet werden sollen. Dadurch, daß die einzelnen Sensoren über separate Leitungen an die zentrale Datenverarbeitungsanlage angeschlossen werden müssen, verfügt ein solches zentrales Meßsysteme über keine oder nur eine sehr beschränkt ausgebildete Erweiterbarkeit. Somit erfordert die Planung eines zentralen Meßsystems eine gründlich Vorbereitung, wobei möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt hinzukommende Maschinen und Sensoren schon in der Planungsphase mitberücksichtigt werden müssen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, den eingangs beschriebenen Schwingungssensor bzw. das eingangs beschriebene Verfahren dahingehend auszugestalten und weiterzubilden, daß eine zuverlässige Zustandsüberwachung von rotierenden Bauteilen und Lagern einfach und damit kostengünstig durchgeführt werden kann, wobei darüber hinaus der Schwingungssensor möglichst einfach bedienbar sein soll.

Diese Aufgabe ist bei dem eingangs beschriebenen Schwingungssensor dadurch gelöst, daß die Auswerteelektronik einen Analog/Digital-Wandler und eine Signalaufbereitungseinrichtung aufweist und in der Signalaufbereitungseinrichtung eine Vielzahl von durch das Sensorelement erfaßten Signalen mit Hilfe einer Signalanalyse und eines Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden. Durch die Integration und die Ausbildung der Signalaufbereitungseinrichtung wird somit die Lagerdiagnose in den Schwingungssensor integriert. Durch die Umwandlung der Vielzahl der gemessenen Signale mit Hilfe der Signalanalyse und des Diagnosealgorithmus in einen einfachen Zustandswert kann auf teures Experten Know-How zur sicheren Lagerdiagnose und zur Erkennung von Lagerschäden verzichtet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung weist der erfindungsgemäße Schwingungssensor eine Anzeigeeinrichtung mit einem Anzeige-Display und

mit mindestens einem Bedienelement zur Parametereingabe und/oder zur Einstellung von Grenzwerten und/oder zur Auswahl einer Betriebsart des Schwingungssensors auf. Mit Hilfe des Anzeige-Displays ist somit eine einfache Anzeige des ermittelten Zustandswerts vor Ort möglich, so daß der Zustand des überwachten Bauteils oder des überwachten Lagers jederzeit einfach ablesbar ist. Mit Hilfe der Bedienelemente kann zum einen der Schwingungssensor in den gewünschten Betriebsmodus geschaltet werden, ist zum anderen eine Anpassung an die jeweils vorliegenden Betriebsbedingungen durch die Eingabe von bestimmten Parametern oder Grenzwerten möglich. Vorzugsweise weist das Anzeige-Display eine Farbanzeige mit den Farbwerten grün, gelb und rot auf, so daß dadurch auf einfache und dennoch eindeutige Art und Weise der jeweilige Zustand des Lagers sowie eine Verschlechterung des Lagerzustandes angezeigt werden kann.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Schwingungssensors weist die Schnittstelle mindestens einen Schaltausgang, einen Parametriereingang und einen Strom- bzw. Spannungsversorgungseingang auf. Die Schnittstelle kann darüber hinaus auch noch einen Signaleingang für ein externes Signal und einen Strom- bzw. Spannungsversorgungsausgang für einen externen Sensor aufweisen. Aufgrund des Parametriereingangs ist dabei eine besonders einfache PC-gestützte Parametrierung über eine Standardschnittstelle, beispielsweise eine RS 232-Schnittstelle, möglich. Hierdurch ist eine benutzerfreundliche Eingabe und Einstellung aller Überwachungsrelevanten Parameter, wie Lagerdaten, Drehzahl, Grenzwerte und Schaltfunktion der Ausgänge, am PC möglich, wobei insbesondere die Lagerdaten in entsprechenden Datenbanken im PC abgespeichert sein können, so daß der Benutzer nur die entsprechende Typenbezeichnung des Lagers eingeben muß und dann alle relevanten Daten vom PC über die Schnittstelle als Parametersatz an den Schwingungssensor übergeben werden.

Durch die Ausbildung eines Signaleingangs für ein externes Signal kann der Schwingungssensor auch bei sich ändernder Drehzahl kontinuierlich die Zustandsüberwachung durchführen. Die auf den Signaleingang geführte Information über die aktuelle Drehzahl kann dabei entweder über ein analoges Stromsignal (4 bis 20 mA) von der Motorsteuerung des rotierenden Bauteils oder von einem externen Sensor, beispielsweise einem Näherungsschalter

oder Impulsgeber, kommen. Dadurch, daß auch ein Strom- bzw. Spannungsversorgungsausgang vorgesehen ist, kann die Strom- bzw. Spannungsversorgung eines externen Sensors über den Schwingungssensor bzw. den Strom- bzw. Spannungsversorgungsanschluß erfolgen. Dadurch ist eine weitere Reduzierung des Verkabelungsaufwandes möglich, da der externe Sensor nur an den räumlich benachbarten Schwingungssensor – und nicht an eine räumlich entfernte Versorgungseinheit – angeschlossen werden muß.

Vorteilhafterweise weist die Schnittstelle zwei Schaltausgänge auf, die jeweils als Öffner oder Schließer geschaltet werden können, wobei der eine Schaltausgang einen Voralarm und der andere Schaltausgang einen Hauptalarm auslöst. Über die Schaltausgänge ist somit zusätzlich zum Anzeige-Display eine Anzeige des jeweiligen Zustandes des rotierenden Bauteils oder des Lagers auch an einem entfernten Ort, beispielsweise einer zentralen Überwachungsstelle, möglich. Der den Hauptalarm auslösende Schaltausgang, der einen die Funktionsfähigkeit des rotierenden Bauteils und/oder des Lagers beeinträchtigenden Schaden anzeigt, kann mit einem Notausschalter der Maschine und einer optischen und/oder akustischen Signaleinrichtung verbunden sein.

Die Auswertelektronik, die beispielsweise durch einen Mikroprozessor gebildet wird, weist gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung eine Selbstlernlogik auf. Mit Hilfe einer solchen Selbstlernlogik, in der definierte und voreingestellte Schadensmuster kontinuierlich mit den aktuellen Meßwerten verglichen werden, ist eine selbstlernende Schadensmustererkennung möglich.

Gemäß einer letzten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Schwingungssensors, die hier noch kurz beschrieben werden soll, ist der Schwingungssensor zur Zustandsüberwachung mehrerer rotierender Bauteile oder Lager ausgelegt, wobei für jedes überwachte Bauteil oder für jedes Lager die erfaßten Signale mit Hilfe der Signalanalyse und des Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden und am Schaltausgang des Schwingungssensors der Zustandswert des Bauteils oder des Lagers mit dem höchsten Schädigungsgrad, d. h. dem schlechtesten bzw. kritischsten Zustandswert, anliegt. Die Auswertelektronik nimmt somit einen Vergleich der Zustandswerte der

5 einzelnen überwachten Bauteile und Lager vor, wobei jeweils nur der "kritischste" Zustandswert auf den Schaltausgang gegeben wird. Hierdurch ist mit einem einzigen erfindungsgemäßen Schwingungssensors die Überwachung mehrerer rotierender Bauteile oder Lager möglich, wobei auf teures Experten Know-How zur Auswertung und Diagnose der einzelnen Meßwerte verzichtet werden kann, da der relevante Zustand von dem Schwingungssensor einfach erfaßbar und übersichtlich angezeigt wird.

10 Bei dem eingangs beschriebenen Verfahren ist die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe dadurch gelöst, daß die von dem Sensorelement erfaßten Signale mit Hilfe einer Signalanalyse und eines Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden. Dabei erfaßt das Sensorelement die Signale kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich, so daß eine ständige Überprüfung des Zustands der Anlage gegeben ist. Die Signalanalyse erfolgt dabei  
15 vorteilhafterweise sowohl in Zeitbereich als auch in Frequenzbereich, wodurch eine hohe Signalauflösung erreichbar ist, so daß auch bei schwierigen Betriebsbedingungen eine zuverlässige Zustandsüberwachung realisiert werden kann.

20 Um die Vielzahl der gemessenen Signale mit einer hohen Genauigkeit aber dennoch mit einem möglichst geringen Rechenaufwand bearbeiten zu können, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Signalanalyse die alternativ oder bevorzugt kombiniert angewendet werden. Die Signalanalyse erfolgt dabei zunächst auf der Basis einer Fourier-Transformation (FT), einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) oder einer Hüllkurven-Fast-Fourier-Transformation (HFFT). Die an sich bekannten mathematischen Transformationsmöglichkeiten werden dabei so modifiziert, daß eine sehr feine spektrale Auflösung erreicht wird. Hierzu kann beispielsweise eine sogenannte Zoom-FFT als  
25 Frequenzanalyse verwendet werden, durch die die Genauigkeit in der Frequenzauflösung (Trennschärfe) erhöht wird. Darüber hinaus wird vorzugsweise eine intelligente dynamische Skalierung des jeweiligen Frequenzbandes realisiert, wodurch die Genauigkeit bei den Amplituden erhöht wird.  
30

35 Zur Verhinderung des Anti-Aliasing-Problems erfolgt eine Begrenzung des Frequenzbereichs mit Hilfe eines Analog-Filters. Vorzugsweise sind dabei die Grenzwerte des Filters in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen variabel ein-



stellbar bzw. passen sich automatisch selber an veränderte Betriebsbedingungen an. Anschließend erfolgt eine Analog/Digital-Wandlung beispielsweise mit Hilfe eines Sigma-Delta-Wandlers, so daß die gemessenen analogen Signale in der Auswertelektronik digital verarbeitet werden können.

5

Um die große Anzahl an Meßwerten mit vertretbarem Aufwand und in Echtzeit auswerten zu können, werden im Zeitbereich dynamische Betrags-Mittelwerte und Peakwerte berechnet. Parallel dazu werden im Frequenzbereich die der Signalanalyse zugeführten Werte manipuliert, d. h. einzelne Signale werden gewichtet und/oder gefiltert und/oder gefenstert und/oder moduliert.

10

Mit Hilfe des Diagnosealgorithmus werden einzelne Signale zu Kennwerten zusammengefaßt, die mit Grenzwerten verglichen werden, wobei einzelne Signale entsprechend ihrer Relevanz gewichtet werden. Die Berechnung der einzelnen Kennwerte erfolgt dabei in Abhängigkeit von abgespeicherten und/oder berechneten Parameterdaten, so daß das erfindungsgemäße Verfahren bei unterschiedlichen Bauteilen und unterschiedlichen Lagern eingesetzt werden kann. Die einzelnen Kennwerte werden dann ebenfalls unter Berücksichtigung unterschiedlicher Gewichtung und unter Berücksichtigung des Betriebszustandes zum Zustandswert zusammengefaßt, der vom Schwingungssensor ausgegeben wird.

15

20

Mit Hilfe des zuvor beschriebenen Diagnosealgorithmus wird somit die Vielzahl der insgesamt gemessenen Signale zu einigen charakteristischen Kennwerten zusammengefaßt, wobei die einzelnen Kennwerte unterschiedliche Schadensarten des rotierenden Bauteils oder des Lagers darstellen. Bei der rechnerischen Zusammenfassung der einzelnen Signale zu den Kennwerten kann dabei die unterschiedliche Relevanz einzelner Signale bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen und unterschiedlichen – zuvor eingegebenen – Parameterdaten berücksichtigt werden.

25

30

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Kennwerte und/oder der Zustandswert einer Plausibilitätsüberprüfung unterzogen, so daß Meßfehler erkannt werden und nicht ein fehlerhafter Zustandswert ausgegeben wird. Bei der Plausibilitätsüberprüfung der Kennwerte und/oder des Zustandswerts wird dabei berücksichtigt, daß die

35

an dem rotierenden Bauteil oder dem Lager auftretenden Schäden in der Regel nicht spontan auftreten, sondern sich im Laufe der Zeit entstehen und vergrößern, so daß durch einen Vergleich der Kennwerte und/oder des Zustands-  
werts zu einem zurückliegenden Zeitpunkt mit dem aktuellen Kennwert  
5 und/oder dem aktuellen Zustandswert ein Meßfehler feststellbar ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung sowohl des erfindungsgemäßen Schwingungssensors als auch des erfindungsgemäßen Verfahrens weist der  
Schwingungssensor unterschiedliche Betriebsarten auf. In einem sogenannten  
10 Teach In Modus werden dabei die Grenzwerte in Abhängigkeit der Parameterdaten und der aktuellen Betriebsbedingungen von der Auswerteelektronik automatisch berechnet. In einem solchen automatischen Selbstlernvorgang werden somit zu Beginn der Zustandsüberwachung die aktuellen Meßwerte als Referenzwerte gespeichert, so daß bei einer Abweichung dieser Referenz-  
15 werte von den theoretisch aufgrund der Parameterdaten erwarteten Meßwerte eine automatische Anpassung der gewählten Grenzwerte erfolgen kann.

Zuvor ist ausgeführt worden, daß mit dem erfindungsgemäßen Schwingungssensor gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung eine Zustandsüberwachung  
20 auch bei unterschiedlichen Drehzahlen möglich ist. In diesem Fall ist das erfindungsgemäße Verfahren derart weiter ausgebildet, daß die zuvor eingegebenen oder berechneten Grenzwerte automatisch an die jeweilige Drehzahl angepaßt werden. Der Teach In Modus muß somit nur bei einer typischen Betriebsdrehzahl durchgeführt werden; bei einer anderen Drehzahl werden  
25 dann die entsprechenden Grenzwerte automatisch von der Auswerteelektronik berechnet, so daß der Teach In Modus nicht für jede mögliche Betriebsdrehzahl durchgeführt werden muß.

Gemäß einer letzten vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die hier noch kurz beschrieben werden soll, werden die ermittelten  
30 Zustandswerte kontinuierlich gespeichert und wird aufgrund der bisher ermittelten Zustandswerte eine Berechnung der noch zu erwartenden Zeitdauer (Restlaufzeit) bis zum Auftreten eines die Funktionsfähigkeit des rotierenden Bauteils und/oder des Lagers beeinträchtigenden Schadens ermitteln. Dadurch  
35 wird dem Benutzer nicht nur der jeweils aktuelle Zustand des überwachten Bauteils oder der überwachten Lager angezeigt, sondern er bekommt auch

eine Aussage darüber, wie lange die überwachte Maschine oder Anlage noch weiter betrieben werden kann und wann eine Reparatur oder ein Austausch eines Lagers durchgeführt werden muß, bevor eine Beschädigung oder ein Ausfall der Maschine oder Anlage zu erwarten ist.

Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, den erfindungsgemäßen Schwingungssensor und das erfindungsgemäße Verfahren auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird verwiesen einerseits auf die dem Patentanspruch 1 bzw. dem Patentanspruch 12 nachgeordneten Patentansprüche, andererseits auf die Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Schwingungssensors,

Fig. 2 eine erste konkrete Ausführungsform des erfindungsgemäßen Schwingungssensors, in Frontansicht und

Fig. 3 eine zweite konkrete Ausführungsform des erfindungsgemäßen Schwingungssensors, in Seitenansicht.

Die Figuren zeigen einen Schwingungssensor 1 mit einem aus Kunststoff oder Aluminium bestehenden Gehäuse 2, mit einem in dem Gehäuse 2 angeordneten – nur in Fig. 1 schematisch dargestellten – Sensorelement 3, mit einer – ebenfalls nur schematisch dargestellten – Auswertelektronik 4 und mit zwei Schnittstellen 5, 6. Die lediglich in Fig. 1 schematisch dargestellte Auswertelektronik 4 weist einen mit dem Sensorelement 3 verbundenen Analog/Digital-Wandler 7 und eine mit dem Analog/Digital-Wandler 7 verbundene Signalaufbereitungseinrichtung 8 auf. Die Signalaufbereitungseinrichtung 8 wird dabei in der Regel von einem Mikroprozessor realisiert, der dann insgesamt die Auswertelektronik 4 bilden kann, so daß auch der Analog/Digital-Wandler 7 in dem Mikroprozessor integriert ist.

Wie anhand von Fig. 2 zu erkennen ist, weist der Schwingungssensor 1 eine Anzeigeeinrichtung 9 mit einem Anzeige-Display 10 und drei Bedienelementen 11, 12, 13 auf. Die Bedienelemente 11 und 12 dienen dabei zum einen

zum Einstellen von Grenzwerten, bei deren Erreichen ein Voralarm bzw. ein Hauptalarm von dem Schwingungssensor 1 ausgelöst wird. Darüber hinaus kann über die Bedienelemente 11, 12 auch der Betriebsmodus und/oder der Anzeigemodus des Schwingungssensors 1 ausgewählt werden. Das Bedienelement 13 dient zum Starten eines Teach In Modus, in dem der Schwingungssensor 1 nach einer erfolgten Parametrierung im installierten Zustand automatisch an die aktuellen Betriebsbedingungen angepaßt wird.

Das Anzeige-Display 10 weist gemäß der bevorzugten Ausgestaltung eine Farbanzeige auf, wobei mehrere grüne LED's 14, mehrere gelbe LED's 15 und mehrere rote LED's 16 vorgesehen sind. Über die erste grüne LED 14 wird dabei eine ordnungsgemäße Stromversorgung des Schwingungssensors 1 angezeigt, während über die zweite grüne LED 14 der Betriebsstatus des Schwingungssensors angezeigt werden kann (Parametrierung, Teach In Modus, Überwachungsmodus). Mit Hilfe der mehreren gelben LED's 15 wird ein Fortschritt des Schädigungsgrades des überwachten Bauteils bzw. des überwachten Lagers angezeigt. Je nach Einstellung der Grenzwerte erfolgt parallel zur Anzeige über eine gelbe LED 15 die Ausgabe eines Voralarms. Über die roten LED's 16 wird schließlich die Beschädigung eines Bauteils oder eines Lagers angezeigt, wobei mit dem dargestellten Schwingungssensor 1 mehrere Lager gleichzeitig überwacht werden können, so daß die einzelnen roten LED's 16 den einzelnen Lagern zugeordnet sind. Parallel zum Aufleuchten einer roten LED 16 erfolgt über die Schnittstelle 5 die Ausgabe eines Hauptalarms.

Die in Fig. 1 schematisch dargestellten Schnittstellen 5, 6 sind bei den in den Fig. 2 und 3 dargestellten konkreten Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Schwingungssensors 1 durch zwei Steckeranschlüsse 17, 18 realisiert, wobei die beiden Schnittstellen 5, 6 als RS 232-Schnittstellen ausgebildet sind und die beiden Stecker 17, 18 als M12 bzw. M8-Steckverbinder ausgeführt sind. Der Stecker 17 weist dabei einen Strom- bzw. Spannungsversorgungsanschluß zwei jeweils als Öffner oder Schließer programmierbare Schaltausgänge – für den Voralarm bzw. den Hauptalarm – und einen Signaleingang für ein externes, der aktuellen Drehzahl entsprechendes Signal auf. Der Stecker 18 weist ebenfalls einen Signaleingang für ein externes Signal auf und darüber hinaus noch einen Strom- bzw. Spannungsversorgungsausgang, über den ein externer

Sensor versorgt werden kann. Darüber hinaus kann der Schwingungssensor 1 auch über den Stecker 17 mit einem Rechner, insbesondere einem PC, verbunden werden, wobei dann von dem PC die Parametrierungsdaten als Datenpakete übertragen werden. Dieser Datentransfer kann außer über eine RS 232-Schnittstelle beispielsweise auch über eine RS 485-Schnittstelle erfolgen.

Bei den einstellbaren Parametern kann es sich insbesondere um Kenndaten der Lager, um Betriebsdaten der Anlage oder Maschine sowie um Grenzwerte handeln. Bei den Kenndaten der Lager handelt es sich dabei insbesondere um die Anzahl der Wälzkörper, d. h. der Kugeln, Rillen oder Tonnen-Wälzkörper, der Wälzkörperdurchmesser sowie der Durchmesser des Lagerinnenrings und des Lageraußenrings. Diese einzelnen Parameter können entweder manuell am PC eingegeben werden oder sie werden bevorzugt aus einer Datenbank lediglich durch Angabe des Lager-Herstellers und der Lager-Kennnummer automatisch zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus können auch die Betriebsdrehzahl bzw. bei variabler Drehzahl der mögliche Drehzahlbereich, die Art der Drehzahlbereitstellung, die Grenzwerte und die Einstellung der Schaltausgänge (Öffner oder Schließer) im Parametrierungsmodus eingestellt werden.

Aus Fig. 1 ist darüber hinaus noch entnehmbar, daß die Auswerteelektronik 4 zwei Speicher 19, 20 aufweist, wobei in dem einen Speicher 19 die eingestellten Parameterwerte und Grenzwerte sowie aktuelle Betriebsdaten abgespeichert werden, während der andere Speicher 20 als Historienspeicher fungiert, in dem die von dem Schwingungssensor 1 ermittelten Zustandswerte fortlaufend abgespeichert werden.

Den Fig. 2 und 3 ist darüber hinaus entnehmbar, daß der erfindungsgemäße Schwingungssensor 1 näherungsweise quaderförmig ausgebildet ist, wobei er vorzugsweise eine sehr kompakte Bauform aufweist, beispielsweise eine Kantenlänge von weniger als fünf Zentimetern hat, wobei an der Frontseite des Gehäuses 2 eine angeschrägte Oberseite 21 ausgebildet ist, in der die Anzeigeeinrichtung 9 integriert ist. Dadurch wird sowohl die Bedienbarkeit der Bedienelemente 11, 12, 13 als auch die Ablesbarkeit des Anzeige-Displays 10 erleichtert bzw. erhöht. Die Befestigung des dargestellten Schwingungssensors 1 an einer zu überwachenden Maschine oder Anlage erfolgt über eine Schraubverbindung 22, kann darüber hinaus jedoch auch durch Verkleben

realisiert werden. Schließlich ist aus Fig. 2 noch ersichtlich, daß oberhalb des Anzeige-Displays 10 Beschriftungsfelder 23 vorgesehen sind, die zum einen den Fortschritt des Schadenszustandes bei der Anzeige über die gelben LED's 15 symbolisieren, zum anderen eine Zuordnung der einzelnen roten LED's 16 zu den einzelnen Lagern ermöglichen.

### Patentansprüche:

1. Schwingungssensor zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern, mit einem Gehäuse (2), mit einem Sensorelement (3), mit einer Auswerteelektronik (4) und mit mindestens einer Schnittstelle (5, 6), wobei  
5 die Auswerteelektronik (4) einen Analog/Digital-Wandler (7) und eine Signalaufbereitungseinrichtung (8) aufweist und in der Signalaufbereitungseinrichtung (8) eine Vielzahl von durch das Sensorelement (3) erfaßten Signalen mit Hilfe einer Signalanalyse und eines Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden.  
10
2. Schwingungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anzeigeeinrichtung (9) mit einem Anzeige-Display (10) und mit mindestens einem Bedienelement (11, 12, 13) zur Parametereingabe und/oder zur Einstellung von Grenzwerten und/oder zur Auswahl einer Betriebsart vorgesehen  
15 sind.
3. Schwingungssensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Anzeige-Display (10) eine Farbanzeige, vorzugsweise mit den Farbwerten grün, gelb, rot aufweist.  
20
4. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schnittstelle (5, 6) mindestens einen Schaltausgang, einen Parametriereingang und einen Strom- bzw. Spannungsversorgungseingang  
25 aufweist.
5. Schwingungssensor mit zwei Schnittstellen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder die zweite Schnittstelle (6) einen Signaleingang für ein Signal beispielsweise eines externen Sensors aufweist und daß  
30 die zweite Schnittstelle (6) einen Strom- bzw. Spannungsversorgungsausgang für einen externen Sensor, beispielsweise einen Näherungsschalter aufweist.
6. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Speicher (19, 20) vorgesehen ist, der mit der

Auswertelektronik (4) verbunden ist, wobei in dem Speicher (19, 20) Parameterwerte und/oder Grenzwerte speicherbar sind.

- 5 7. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schnittstelle (5) zwei Schaltausgänge aufweist, wobei der eine Schaltausgang vorzugsweise einen Voralarm und der andere Schaltausgang einen Hauptalarm auslöst.
- 10 8. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertelektronik (4) eine Selbstlernlogik aufweist.
- 15 9. Schwingungssensor zur Zustandüberwachung mehrerer rotierender Bauteile oder Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß am Schaltausgang der Zustandswert des Bauteils oder des Lagers mit dem höchsten Schädigungsgrad (= schlechtesten Zustandswert) anliegt.
- 20 10. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (2) näherungsweise quaderförmig ausgeführt ist und eine angeschrägte Oberseite (21) aufweist, und daß in der angeschrägten Oberseite (21) die Anzeigeeinrichtung (9) integriert ist.
- 25 11. Schwingungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (1) aus Metall, insbesondere Aluminium, oder aus Kunststoff besteht und mindestens der Schutzart IP 65 genügt.
- 30 12. Verfahren zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern mit einem ein Sensorelement und eine Auswertelektronik aufweisenden Schwingungssensor, wobei die von dem Sensorelement erfaßten Signale mit Hilfe einer Signalanalyse und eines Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalanalyse sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich erfolgt.
- 35 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalanalyse auf Basis einer Fourier-Transformation (FT), einer Fast-



Fourier-Transformation (FFT) oder einer Hüllkurven-Fast-Fourier-Transformation durchgeführt wird.

5 15. Verfahren nach Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Zeitbereich dynamische Betrags-Mittelwerte und/oder Peakwerte berechnet werden.

10 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß im Frequenzbereich die der Signalanalyse zugeführten Werte manipuliert, d.h. einzelne Signale gewichtet, gefiltert, gefenstert und/oder moduliert werden.

15 17. Verfahren Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Grenzwerte der Filterung in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen variabel einstellen.

20 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Diagnosealgorithmus in Abhängigkeit von abgespeicherten und/oder berechneten Parametrierdaten und Grenzwerten erfolgt.

25 19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe des Diagnosealgorithmus einzelne Signale zu Kennwerten zusammengefaßt werden und die Kennwerte mit Grenzwerten verglichen werden, wobei die einzelnen Signale entsprechend ihrer Relevanz gewichtet werden.

30 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Kennwerte gegebenenfalls unter Berücksichtigung unterschiedlicher Gewichtung und unter Berücksichtigung des Betriebszustandes zu einem Zustandswert zusammengefaßt werden.

35 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennwerte und/oder der Zustandswert einer Plausibilitätsüberprüfung unterzogen wird, so daß Meßfehler erkannt werden und nicht zu einem fehlerhaften Zustandswert führen.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzwerte in Abhängigkeit der Parametrierdaten und der aktuellen Betriebsbedingungen in einem Teach In Modus automatisch berechnet werden.

5

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Parametrierdaten aus einer graphischen und/oder tabellarischen modellhaften Beschreibung der zur überwachenden Maschine, Bauteile oder Lager selbstständig generiert werden.

10

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingabe der Parametrierdaten über eine Eingabeeinheit, insbesondere einen Rechner oder PC erfolgt.

15

25. Verfahren zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern bei verschiedenen Drehzahlen nach einem der Ansprüche 12 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzwerte automatisch an die jeweilige Drehzahl angepaßt werden.

20

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl selbstständig erkannt bzw. gemessen wird und einer Plausibilitätsüberprüfung unterzogen wird, so daß ein Fehler in der Drehzahlbestimmung erkannt und korrigiert werden kann.

25

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß im Teach In Modus die Grenzwerte in Abhängigkeit der Parametrierdaten bei einer Betriebsdrehzahl berechnet werden und eine selbstlernende Auswertelogik die Grenzwerte bei anderen Drehzahlen automatisch berechnet.

30

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Zustandswerte kontinuierlich gespeichert werden und aufgrund der bisher ermittelten Zustandswerte eine Berechnung der noch zu erwartenden Zeitdauer (Restlaufzeit) bis zum Auftreten eines die Funktionsfähigkeit des rotierenden Bauteils und/oder des Lagers beeinträchtigenden Schadens ermittelt wird.

35

Fig. 1

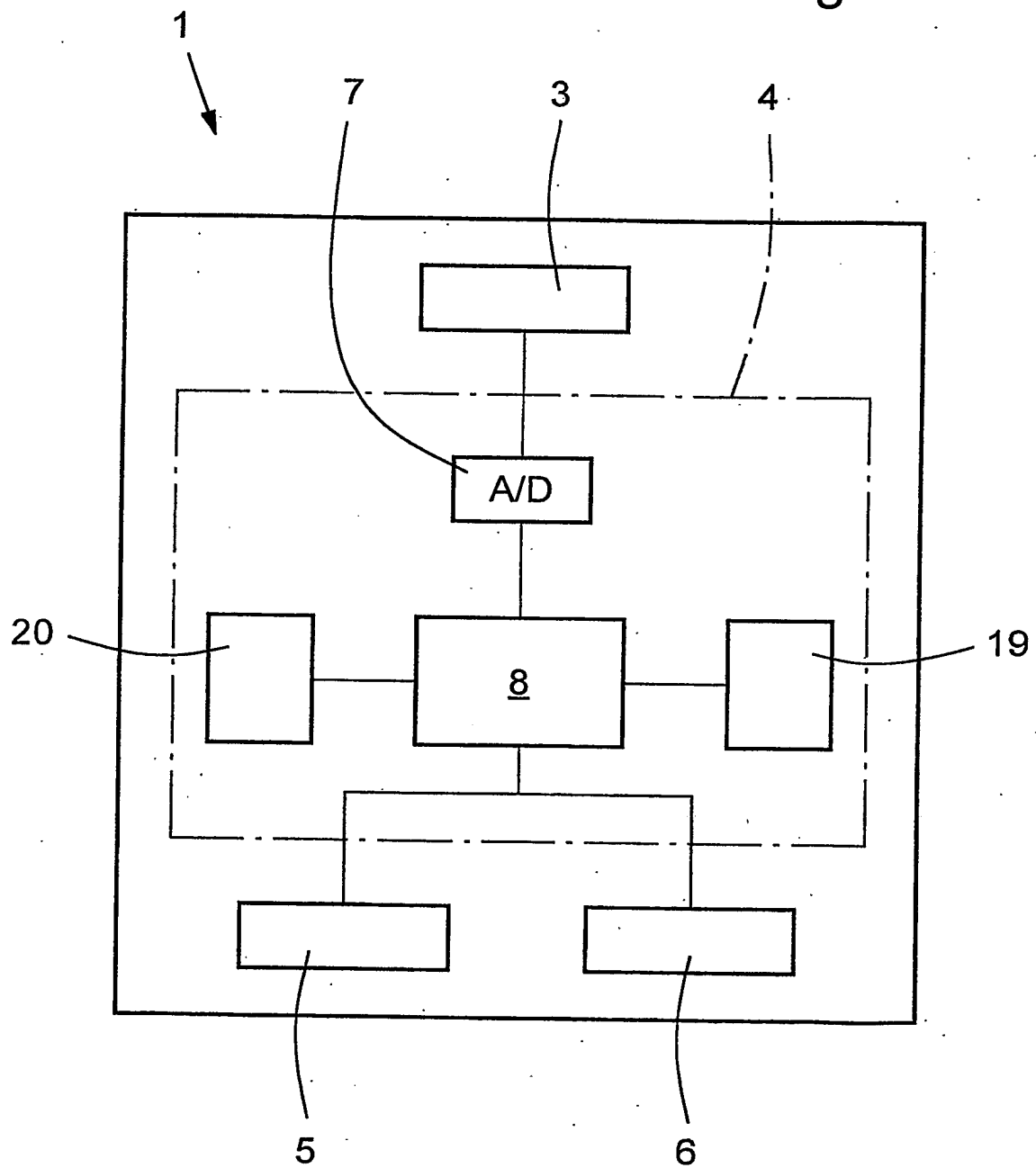


Fig. 2

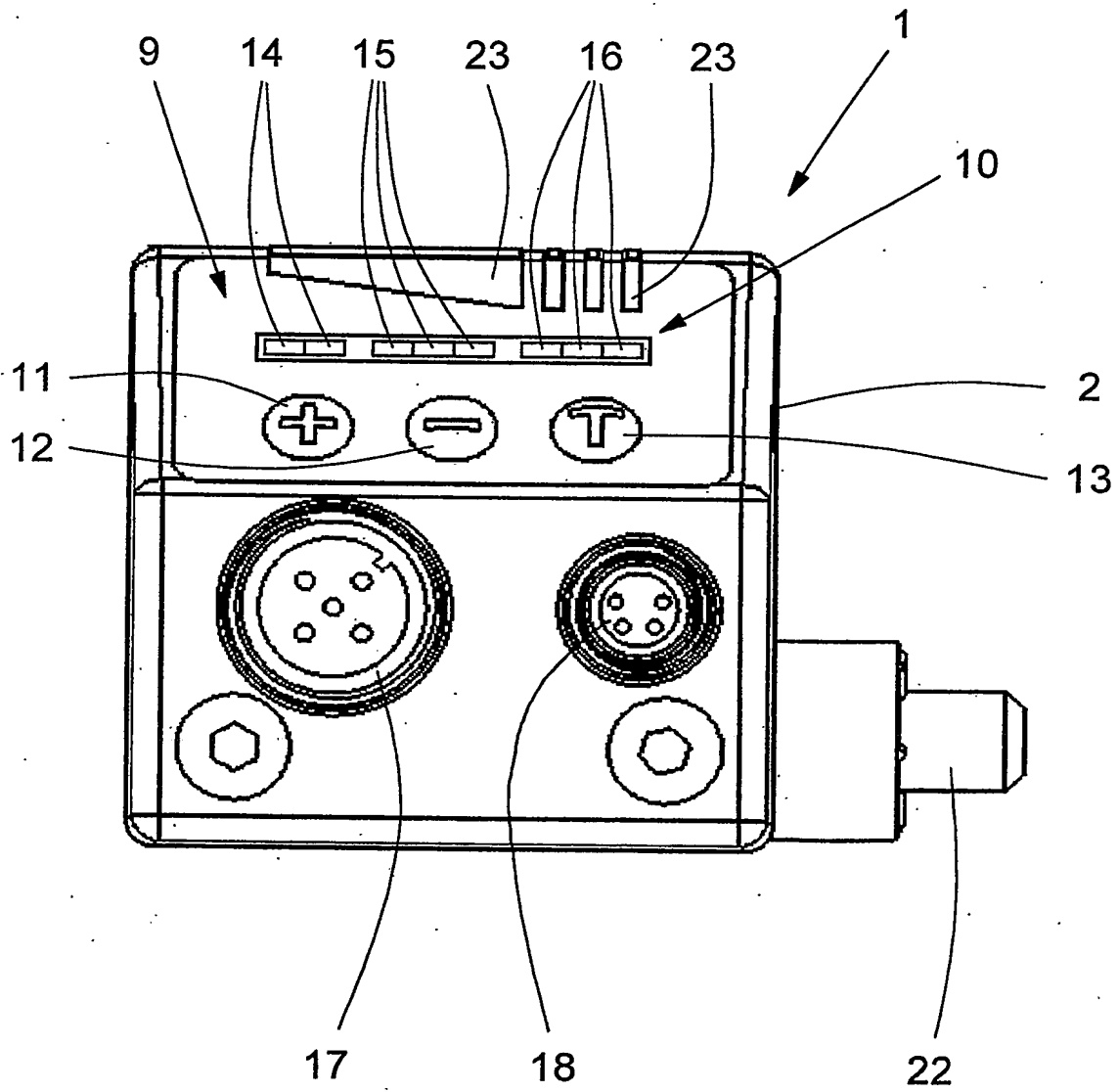
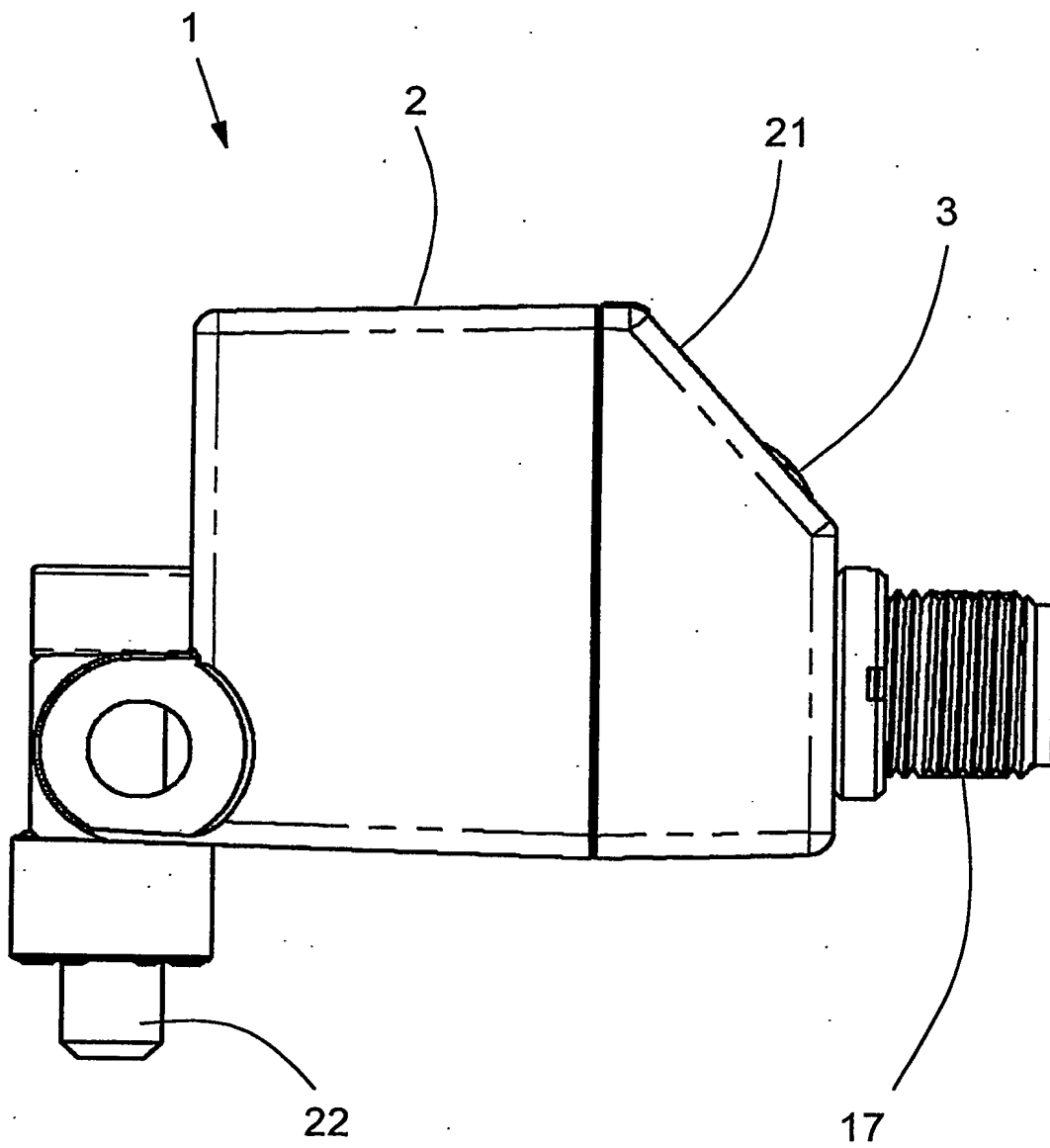


Fig. 3



### **Zusammenfassung:**

5 Dargestellt und beschrieben ist ein Schwingungssensor zur Zustandüberwachung von rotierenden Bauteilen oder Lagern, mit einem Gehäuse (2), mit einem Sensorelement (3), mit einer Auswerteelektronik (4) und mit mindestens einer Schnittstelle (5, 6).

10 Mit dem Schwingungssensor (1) kann eine zuverlässige Zustandsüberwachung von rotierenden Bauteilen und Lagern einfach und damit kostengünstig dadurch durchgeführt werden, wobei darüber hinaus der Schwingungssensor einfach bedienbar ist, daß die Auswerteelektronik (4) einen Analog/Digital-Wandler (7) und eine Signalaufbereitungseinrichtung (8) aufweist und in der Signalaufbereitungseinrichtung (8) eine Vielzahl von durch  
15 das Sensorelement (3) erfaßten Signalen mit Hilfe einer Signalanalyse und eines Diagnosealgorithmus in einen Zustandswert umgewandelt werden.

